

Приемлемая для большинства инженерных расчетов точность нахождения расхода сетевой воды по формуле (1) ( $\Delta W_d / W_d \leq 0,025$ ) может быть обеспечена при точности итерационного процесса не ниже 5%.

1.Зингер Н.М.,Бестолченко В.Г., Жидков А.А. Повышение эффективности работы тепловых пунктов. – М.: Стройиздат, 1990. – 188 с.

2.Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения / Чистяков Н.Н., Грудзинский М.М., Ливчак В.И. и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 314 с.

3.Теплоснабжение / Ионин А.А., Хлыбов Б.М., Братенков В.Н. и др. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

4.Зингер Н.М.Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. – М.: Энергоиздат, 1986. – 320 с.

5.Алексахин А.А. Анализ показателей работы двухступенчатой последовательной схемы водонагревательной установки горячего водоснабжения при уменьшении расчетной отопительной нагрузки // Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Вып. 28. – Харьков, 2005. – С. 17-21.

6.Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. – М.: Энергия, 1979. – 320 с.

7.Теплотехнический справочник / Под общ. ред. В.Н.Юренева и П.Д.Лебедева. Т.2. – М.: Энергия, 1976. – 896 с.

8.Маляренко В.А., Редько А.Ф., Чайка Ю.И., Поволочко В.Б. Техническая теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений. – Харьков: Рубикон, 2001. – 279 с.

*Получено 23.05.2006*

УДК 697.9

А.Ф.СТРОЙ, д-р техн. наук, О.С.ДУБИНА

*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

## **РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛОВІДДАЧІ ПАРОВОГО КАЛОРИФЕРА ЗА РАХУНОК ЗМІН РІВНЯ КОНДЕНСАТУ В НЬОМУ**

Запропоновано метод центрального кількісного регулювання тепловіддачі нагрівальних приладів в системах паропостачання. Порівняно з місцевим цей спосіб регулювання не призводить до швидкої корозії і виходу з ладу нагрівального приладу. Отримані формули, за допомогою яких є можливість розробити режим центрального кількісного регулювання тепловіддачі нагрівальних приладів в системах паропостачання.

При експлуатації систем паропостачання основною проблемою є їх регулювання. Через неякісне регулювання відбуваються значні втрати теплової енергії за рахунок витоків пари. При цьому в систему потрапляє повітря, що спричиняє швидкий вихід з ладу частини конденсатопроводів внаслідок корозії.

При централізованому тепlopостачанні водяних систем тепловіддачу нагрівальних приладів, як правило, регулюють якісно (за рахунок зміни температури теплоносія в тепловому центрі – в ТЕЦ або в ра-

йонній котельні). Можливе також кількісне регулювання (за рахунок змін витрат теплоносія в тепловому центрі або безпосередньо біля нагрівального приладу). Таким чином, у водяних системах якісне регулювання передбачають, як правило, тільки центральне, а кількісне може бути як центральне, так і місцеве [1].

У парових системах з надлишковим тиском пари передбачити центральне якісне регулювання практично неможливо, тому що температура насиченої пари зі зміною тиску змінюється несуттєво. В цих системах використовується кількісне регулювання за рахунок зміни витрат пари або регулювання пропусками [2].

У системах паропостачання низького тиску у випадку, коли нагрівальний прилад сполучений з атмосферою через сухий конденсатор-провід (рис.1), для регулювання тепловіддачі нагрівальних приладів використовується місцеве кількісне регулювання. В цьому випадку тиск у приладі рівний атмосферному.

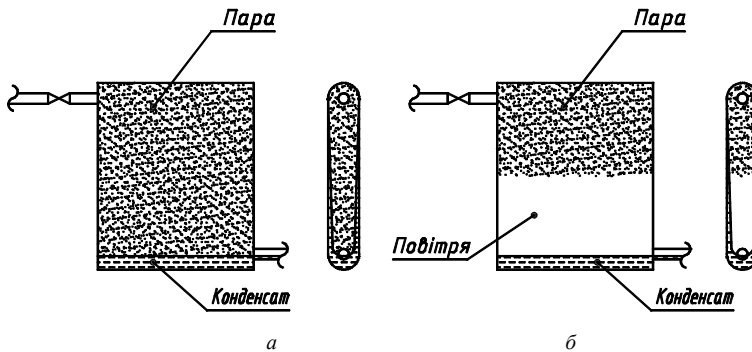


Рис.1 – Схема кількісного місцевого регулювання тепловіддачі нагрівального приладу:  
а – при розрахунковій кількості пари; б – при зменшеній подачі пари.

Якщо кількість пари, що надходить у прилад, відповідає тій кількості, яка може сконденсуватися при теплообміні, тоді весь нагрівальний прилад буде заповнений парою (рис.1, а), а конденсат, що утворюється, стікатиме по внутрішніх стінках приладу вниз і звідти в конденсатор-провід. Якщо ж зменшити кількість пари, що надходить у прилад, тоді внаслідок того, що густина пари менша за густину повітря, пара заповнюватиме не весь прилад, а тільки його верхню частину. Нижня частина приладу буде заповнена повітрям (рис.1, б). Такий спосіб регулювання призводить до швидкої корозії і виходу з ладу нагрівального приладу [3]. Інші методи кількісного регулювання розроблені недо-

статньо і практично не використовуються в системах паропостачання.

Метою даної статті є розроблення способу центрального кількісного регулювання тепловіддачі нагрівального приладу за рахунок змін рівня конденсату в ньому.

Для розробки такого способу регулювання розглянемо як приклад систему паропостачання калорифера (рис.2).

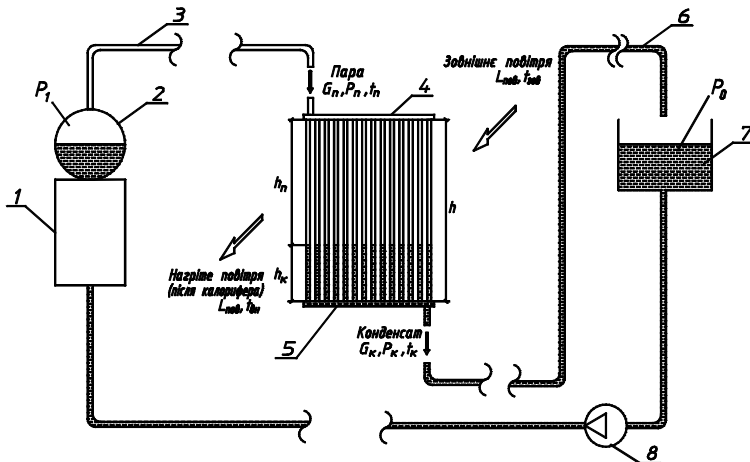


Рис.2 – Схема системи паропостачання калорифера:

1 – паровий котел; 2 – парозбірник; 3 – паропровід; 4 – частина калорифера, де знаходиться пара; 5 – частина калорифера, де знаходиться конденсат; 6 – конденсатопровід; 7 – конденсатний бак; 8 – конденсатна помпа;  $P_1$ ,  $P_0$  – тиск відповідно в парозбірнику, конденсатному баці.

При зміні температури зовнішнього повітря повинна змінюватися тепловіддача калорифера. Вона може змінюватися за рахунок змін рівня конденсату в калорифері. В свою чергу рівень конденсату може змінюватися залежно від кількості спалюваного палива в паровому котлі.

При розробці такого способу регулювання необхідно визначити який рівень конденсату потрібно підтримувати в калорифері при тій чи іншій температурі зовнішнього повітря.

Для визначення рівня конденсату в калорифері  $h_K$  (рис.2) розглянемо систему рівнянь, яка описує тепловий баланс калорифера при будь-якій наперед заданій температурі зовнішнього повітря

$$\begin{cases} Q_{\text{кал}} = L_{\text{нов}} \rho_{\text{нов}} c_{\text{нов}} (t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}}), \\ Q_{\text{кал}} = k_{\Pi} F_{\Pi} \Delta t_{\Pi} + k_K F_K \Delta t_K \end{cases} \quad (1)$$

де  $Q_{\text{кал}}$  – тепловіддача калорифера, кДж/год;  $c_{\text{нов}}$  – теплоємність повітря, кДж/(кг·°C);  $L_{\text{нов}}$  – кількість повітря, яка нагрівається в калорифері, м<sup>3</sup>/год;  $\rho_{\text{нов}}$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $t_{\text{вн}}$  – температура повітря після нагрівання, °C;  $t_{\text{зов}}$  – температура зовнішнього повітря, °C;  $k_{\text{П}}$ ,  $k_{\text{К}}$  – відповідно коефіцієнт теплопередачі тієї частин калорифера, де знаходиться пара і конденсат, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $F_{\text{П}}$ ,  $F_{\text{К}}$  – відповідно площа поверхні нагрівання частини калорифера, де знаходиться пара і конденсат, м<sup>2</sup>;  $\Delta t_{\text{П}}$ ,  $\Delta t_{\text{К}}$  – різниця середніх температур між температурою пари і повітря або між температурою конденсату і повітря, °C.

На основі системи рівнянь (1) можна записати, що тепловіддача калорифера дорівнює

$$Q_{\text{кал}} = k_{\text{П}} F_{\text{П}} \left[ t_{\text{П}} - \left( \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{зов}}}{2} \right) \right] + k_{\text{К}} F_{\text{К}} \left[ \left( \frac{t_{\text{ex}} + t_{\text{вих}}}{2} \right) - \left( \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{зов}}}{2} \right) \right], \quad (2)$$

де  $t_{\text{П}}$  – температура пари на вході в калорифер, °C;  $t_{\text{ex}}$  – температура конденсату на верхньому рівні конденсату, °C;  $t_{\text{вих}}$  – температура конденсату на нижньому рівні конденсату, °C.

З урахуванням кількості трубок в калорифері та їх розмірів, тобто знаючи, що  $F = F_{\text{П}} + F_{\text{К}} = n\pi d h_{\text{П}} + n\pi d h_{\text{К}} = n\pi d h$ , отримуємо рівняння

$$Q_{\text{кал}} = k_{\text{П}} n\pi d h_{\text{П}} \left[ t_{\text{П}} - \left( \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{зов}}}{2} \right) \right] + k_{\text{К}} n\pi d h_{\text{К}} \left[ \left( \frac{t_{\text{ex}} + t_{\text{вих}}}{2} \right) - \left( \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{зов}}}{2} \right) \right], \quad (3)$$

де  $d$  – зовнішній діаметр трубок калорифера, м;  $n$  – кількість трубок в калорифері, шт.;  $h$  – висота трубки калорифера, м;  $h_{\text{П}}$  – частина трубки калорифера, де знаходиться пара, м;  $h_{\text{К}}$  – частини трубки калорифера, де знаходиться конденсат, м.

Виконавши заміну  $h = h_{\text{К}} + h_{\text{П}} \Rightarrow h_{\text{П}} = h - h_{\text{К}}$ , можна записати, що

$$Q_{\text{кал}} = k_{\text{П}} n\pi d (h - h_{\text{К}}) \left[ t_{\text{П}} - \left( \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{зов}}}{2} \right) \right] + k_{\text{К}} n\pi d h_{\text{К}} \left[ \left( \frac{t_{\text{ex}} + t_{\text{вих}}}{2} \right) - \left( \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{зов}}}{2} \right) \right]. \quad (4)$$

Розкриваючи дужки, маємо:

$$Q_{\text{кал}} = k_{\text{П}} n\pi d h \left[ t_{\text{П}} - \left( \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{зов}}}{2} \right) \right] - k_{\text{П}} n\pi d h_{\text{К}} \left[ t_{\text{П}} - \left( \frac{t_{\text{вн}} + t_{\text{зов}}}{2} \right) \right] +$$

$$+ k_K n \pi d h_K \left[ \left( \frac{t_{ex} + t_{eux}}{2} \right) - \left( \frac{t_{en} + t_{zov}}{2} \right) \right]. \quad (5)$$

Якщо у вираз (5) підставити тепловіддачу калорифера, визначену за допомогою кількості повітря, що нагрівається в ньому, то висоту рівня конденсату для калориферів з гладкими трубками можна обчислити за допомогою формули

$$h_K = \frac{L_{нов} \rho_{нов} c_{нов} (t_{en} - t_{zov}) - k_{II} F \left[ t_{II} - \left( \frac{t_{en} + t_{zov}}{2} \right) \right]}{n \pi d \left( k_K \left[ \left( \frac{t_{ex} + t_{eux}}{2} \right) - \left( \frac{t_{en} + t_{zov}}{2} \right) \right] - k_{II} \left[ t_{II} - \left( \frac{t_{en} + t_{zov}}{2} \right) \right] \right)}. \quad (6)$$

Для калориферів з оребреними трубками необхідно ввести в рівняння тепловіддачі коефіцієнт оребрення

$$\delta = F / (nh), \quad (7)$$

де  $F$  – площа поверхні трубок калорифера, м<sup>2</sup>;  $n$  – кількість трубок в калорифері, шт.;  $h$  – висота трубок калорифера, м.

Використовуючи розглянутий алгоритм одержання формули (6), маємо формулу, яка дає можливість визначити необхідний рівень конденсату залежно від температури зовнішнього повітря в калориферах з оребреними трубками

$$h_K = \frac{L_{нов} \rho_{нов} c_{нов} (t_{en} - t_{zov}) - k_{II} F \left[ t_{II} - \left( \frac{t_{en} + t_{zov}}{2} \right) \right]}{\delta n \left( k_K \left[ \left( \frac{t_{ex} + t_{eux}}{2} \right) - \left( \frac{t_{en} + t_{zov}}{2} \right) \right] - k_{II} \left[ t_{II} - \left( \frac{t_{en} + t_{zov}}{2} \right) \right] \right)}. \quad (8)$$

Одержані рівняння (6) і (8) дозволяють визначити необхідну висоту рівня конденсату в калорифері залежно від температури зовнішнього повітря і можуть стати основою при розробленні способу центрального регулювання тепловіддачі нагрівальних приладів у системах паропостачання.

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Энергия, 1972. – 406 с.

2. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. – 4-е изд., перераб. и доп. Кн.1. / Щекин Р.В., Корневский С.М., Беем Г.Е. – К.: Будівельник, 1976. – 416 с.

3. Максимов Г.А., Орлов А.И. Отопление и вентиляция. – 2-е изд., перераб. и доп. Ч. 1. – М., 1954. – 304 с.

Отримано 22.05.2006